

# Werkzeugmaschine mit piezoelektrischer Positionskorrekturseinrichtung

**Patent number:** DE19859360

**Publication date:** 2000-07-06

**Inventor:**

**Applicant:** SCHWAEBISCHE  
WERKZEUGMASCHINEN (DE)

**Classification:**

- **international:** B23Q15/14; G05B19/401;  
B23Q23/00; B23Q1/34

- **european:**

**Application number:** DE19981059360 19981222

**Priority number(s):** DE19981059360 19981222

**Also published as:**

 WO0037213 (A3)

 WO0037213 (A3)

 WO0037213 (A2)

 EP1140423 (A3)

 EP1140423 (A3)

[more >>](#)

[Report a data error here](#)

## Abstract of DE19859360

The invention relates to a machine tool (1) especially for machining work pieces. Said machine tool comprises a machining unit (3). At least one electrically controlled piezoelectric control element (11) is provided as a position adjusting device, especially for a work spindle (4) of the machining unit (3). If a change of position is detected, the machining unit can quickly be mechanically moved to the respective desired position.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



(71) Anmelder:

Schwäbische Werkzeugmaschinen GmbH, 78713  
Schramberg, DE

(74) Vertreter:

Kohler Schmid + Partner, 70565 Stuttgart

(72) Erfinder:

Antrag auf Nichtnennung

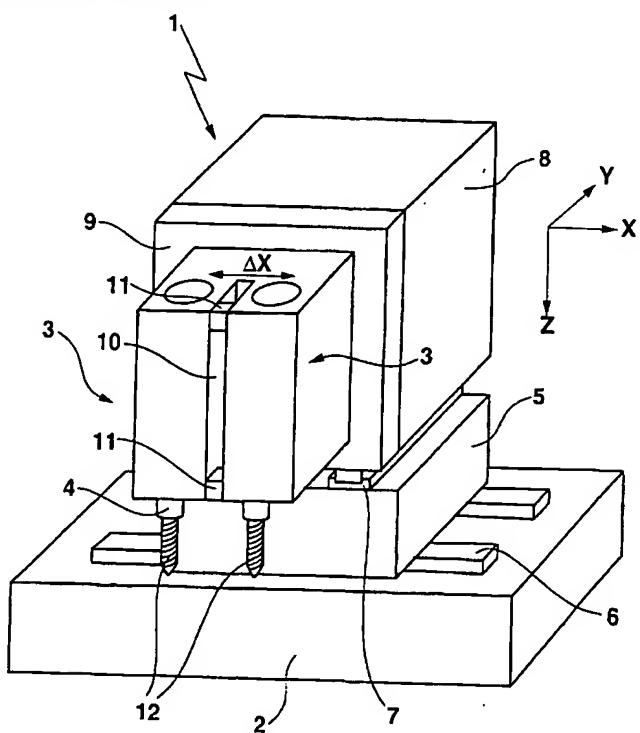
(56) Entgegenhaltungen:

DE 196 19 103 A1  
DE 196 07 599 A1  
DE 37 11 600 A1**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Werkzeugmaschine mit piezoelektrischer Positions korrektur einrichtung

(57) Bei einer Werkzeugmaschine (1) zur insbesondere spanenden Bearbeitung von Werkstücken, mit einer Bearbeitungseinheit (3) ist als Positions korrektur einrichtung, insbesondere für eine Arbeitsspindel (4) der Bearbeitungseinheit (3), mindestens ein elektrisch angesteuertes piezoelektrisches Stellelement (11) vorgesehen. Bei einer festgestellten Positionsänderung kann die Bearbeitungseinheit schnell mechanisch in ihre jeweilige Sollposition bewegt werden.



## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Werkzeugmaschine zur insbesondere spanenden Bearbeitung von Werkstücken, mit einer Bearbeitungseinheit und/oder einem Werkstücktisch und mit einer Positions korrektur einrichtung für die Bearbeitungseinheit bzw. den Werkstücktisch.

Eine derartige Werkzeugmaschine ist zum Beispiel durch die DE 196 07 599 A1 bekannt geworden.

Um bei dieser bekannten Werkzeugmaschine Bearbeitungsgenauigkeiten aufgrund thermisch bedingter Positionsänderungen von Werkstück und/oder Werkzeug im Arbeitsbereich des Werkzeuges zu vermeiden, sind ortsfeste optische Maßschranken vorgesehen, durch die Werkstück und Werkzeug gleichzeitig oder kurz nacheinander bewegt werden. Die so erfaßten Positionen werden mit abgespeicherten Positionen aus früheren Messungen verglichen, und die Differenz zwischen erfaßter und früher gemessener Position wird zur Korrektur der Maschinensteuerung verwendet. Das heißt, das Werkzeug oder Werkstück wird nicht mechanisch auf den Sollwert zurückbewegt, sondern die Positionsänderung wird durch eine entsprechende Korrektur der Sollwerte der Maschinensteuerung berücksichtigt. Außerdem ist eine dynamische Positions korrektur während der Bearbeitung eines Werkstücks nicht möglich.

Demgegenüber ist es die Aufgabe der Erfindung, eine Werkzeugmaschine der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß bei einer festgestellten Positionsänderung die Bearbeitungseinheit und/oder der Werkstücktisch möglichst schnell mechanisch in ihre jeweilige Sollposition bewegt werden können.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß als Positions korrektur einrichtung, insbesondere für eine Arbeitsspindel der Bearbeitungseinheit, mindestens ein elektrisch angesteuertes piezoelektrisches (piezokeramisches) Stellelement vorgesehen ist.

Piezoelektrische Stellelemente (Aktuatoren), mit denen sich heute Dehnungen von bis zu ca. 300  $\mu\text{m}$  erreichen lassen, weisen sehr hohe Steifigkeiten und insbesondere sehr kurze Stellzeiten (kleiner als 1  $\mu\text{s}$ ) auf. In Werkzeugmaschinen können sie sowohl auf der Werkzeug- als auch auf der Werkstückseite eingesetzt werden z. B.:

- zum Ausgleich von thermischen Verformungen und Verlagerungen;
- zum Ausgleich von geometrischen Positionsfehlern (z. B. der Werkstücke);
- zum Ausgleich von Verformungen und Verlagerungen aufgrund wirkender Kräfte;
- zum Ausgleich von Werkzeugmaßschwankungen (z. B. Werkzeuglängenkorrektur, insbesondere eine relative Werkzeuglängenkorrektur bei mehrspindligen Systemen);
- zur aktiven Schwingungstilgung.

So können z. B. die Arbeitsspindeln von Werkzeugmaschinen, insbesondere von mehrspindligen, mit Hilfe von piezoelektrischen Stellelementen räumlich verschiebbar an die Werkzeugmaschine angekoppelt werden. Damit ist eine, den Freiheitsgraden der konventionellen Maschinenachsen überlagerte räumliche Bewegung der bzw. jeder einzelnen Arbeitsspindel möglich. Der Maschinenständer, z. B. eine Schleitteneinheit, mit der Arbeitsspindel führt die vom Steuerprogramm vorgegebenen Achsbewegungen durch, während eine Arbeitsspindel zusätzlich überlagerte Kompensationsbewegungen für eine Positions korrektur ausführen kann. Diese erfindungsgemäße piezoelektrische Positions korrektur einrichtung kann sowohl bei konventionellen Ar-

beitsspindeln als auch bei Motorspindeln und Mehrspindelbohrköpfen eingesetzt werden.

Zum Abgleich von Positionsfehlern zwischen Werkzeug und Werkstück, die aufgrund der oben genannten Einflüsse entstehen, kann die Arbeitsspindel entweder mittels vorgegebener Parameter in eine Sollposition gesteuert werden, oder es wird mit Hilfe eines geschlossenen Regelkreises die Werkzeug- bzw. Arbeitsspindelposition an die Werkstück- bzw. Sollposition angepaßt. Die Ermittlung der Soll/Ist-Abweichung kann mittels mechanischer, optischer, kapazitiver oder induktiver Maßaufnehmer oder Taster erfolgt. Der Maßabgleich kann dabei sowohl an den zu bearbeitenden Werkstücken als auch an dem Werkzeug erfolgen.

Die festgestellte Abweichung wird dann in mehreren Regelschritten z. B. durch das Verschieben der Arbeitsspindel auf ihre Sollposition minimiert. Bei der gesteuerten Vorgehensweise wird die Arbeitsspindel anhand von im Vorfeld ermittelter maschinen-, werkzeug- oder vorrichtungstypischer Parameter in ihre exakte Sollposition gesteuert. Dabei können sich diese Parameter auch variabel am jeweiligen Maschinenzustand orientieren (Temperatur, Bearbeitungskraft usw.).

Bei bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung verläuft die Wirkrichtung des mindestens einen piezoelektrischen Stellelements etwa in Richtung eines linearen Freiheitgrades der Bearbeitungseinheit bzw. des Werkstücktisches, d. h. in Richtung der konventionellen Maschinenachsen X, Y oder Z. Neben thermisch bedingten Verlagerungen können so Werkzeugmaßschwankungen, z. B. die Werkzeuglänge oder Werkzeugeinstellmaße, verändert werden. Dies ermöglicht insbesondere bei mehrspindligen Systemen, bei denen ansonsten eine Kompensation ihrer Arbeitsspindeln in Achsrichtung (Z-Richtung) zueinander nicht möglich ist, einen individuellen und separaten Abgleich jeder einzelnen Arbeitsspindel in Z-Richtung.

In vorteilhafter Weiterbildung dieser Ausführungsform kann jedem linearen Freiheitsgrad der Bearbeitungseinheit bzw. des Werkstücktisches jeweils mindestens ein piezoelektrisches Stellelement zugeordnet sein. Durch diese Maßnahme kann jede beliebige räumliche Positions korrektur z. B. der Arbeitsspindel(n) vorgenommen werden.

Bei einer anderen Ausführungsform der Erfindung verläuft die Wirkrichtung des mindestens einen piezoelektrischen Stellelements etwa radial zu einem linearen Freiheitsgrad der Bearbeitungseinheit bzw. des Werkstücktisches. Diese Ausführungsform hat den wesentlichen Vorteil, daß z. B. eine Arbeitsspindel über das mindestens eine piezoelektrische Stellelement aus ihrer zu einem linearen Freiheitsgrad (Z-Richtung) parallelen Lage bewegt, insbesondere parallelverschoben oder auch verkippt werden kann.

Dazu kann die Bearbeitungseinheit bzw. der Werkstücktisch in einer vorteilhaften Weiterbildung dieser Ausführungsform über eine durch mindestens zwei, vorzugsweise mindestens drei piezoelektrische Stellelemente gebildete Mehrpunkt halterung räumlich verstellbar gelagert sein. Die Stellelemente sind dabei in gleichen Winkelabständen an der Bearbeitungseinheit bzw. dem Werkstücktisch vorzusehen.

Ferner ist es bei dieser Weiterbildung besonders von Vorteil, wenn die Bearbeitungseinheit bzw. der Werkstücktisch über mindestens zwei in Richtung des linearen Freiheitsgrades hintereinander angeordnete Mehrpunkt halterungen räumlich verstellbar gelagert ist. Mit zwei Mehrpunkt halterungen, z. B. mit je drei unter 120 angeordneten Stellelementen in zwei Radialebenen, läßt sich eine Arbeitsspindel in den durch die drei Stellelemente aufgespannten Radialebenen radial verstellen, und zwar entweder zur Spindelachse parallelverschieben oder aber sphärisch verstellen. Im letz-

teren Fall ändert sich die Achsrichtung der Arbeitsspindel bzw. des darin eingespannten Werkstücks. Durch die sphärische Verstellbarkeit der Arbeitsspindel können auch Tau-melfehler der Arbeitsspindel ausgeglichen werden. Ebenso wird es dadurch möglich, genaueigkeitsbedingte, geometrische Abweichungen der Werkzeugmaschine sowie Fehler aufgrund der Nachgiebigkeit der Maschinenstruktur auszugleichen.

Je nach Position des Massenmittelpunkts einer verfahrbaren Bearbeitungseinheit, insbesondere ihrer Schlitteneinheit, bei der Bearbeitung ändern sich die auf ihre Führung wirkenden Kräfte bzw. Belastung. Damit ergeben sich abhängig von der jeweiligen Position des Schlittens Geometriabweichungen. Schlimmstenfalls kann diese Belastung zu einem Abkippen des Schlittens führen. Um auch solche von der Position des Schlittens abhängigen, jeweils unterschiedlichen Kräfte ausgleichen zu können, kann das mindestens eine piezoelektrische Stellelement erfindungsgemäß an der einem linearen Freiheitsgrad zugeordneten Führung der Bearbeitungseinheit bzw. des Werkstücktisches vorgesehen sein. So können bei vertikalen Bearbeitungseinheiten, um z. B. Nachgiebigkeiten ihres X-Schlittens auszugleichen, Stellelemente unter den Führungsschuhen der Führungen montiert werden. Damit kann die nicht konstante Steifigkeit des X-Schlittens in Abhängigkeit seiner jeweiligen Y-Position kompensiert werden.

Bei bevorzugten weiteren Ausführungsformen ist der Abstand zwischen zwei Bearbeitungseinheiten, insbesondere zwischen ihren Arbeitsspindeln, oder zwischen zwei Werkstücktischen der Werkzeugmaschine über das mindestens eine piezoelektrische Stellelement veränderbar. Im einfachsten Fall ist das Stellelement zwischen den beiden Arbeitsspindeln z. B. in einer Trennfuge vorgesehen, um den Spindelabstand durch Aufweiten der Trennfuge zu verstetzen.

Auch Schwingungen der Werkzeugmaschine, die im allgemeinen in einem Frequenzbereich von ca. 10–20 Hz liegen, können zu Positionsungenauigkeiten und zu Verlagerungen führen. Daher ist es von besonderem Vorteil, wenn mindestens ein die Bearbeitungseinheit bzw. den Werkstücktisch höhenverstellbar lagerndes piezoelektrisches Element zur Kompensation solcher Schwingungen (aktive Schwingungstilgung) vorgesehen ist. Dazu wird die Bewegung der Werkzeugmaschine mit geeigneten Schwingungsmeßelementen erfaßt, verrechnet und als Wegkompensationswerte an die Stellelemente gegeben.

Zur Ermittlung der Soll/Ist-Abweichung auf der Werkzeug- oder Werkstückseite kann ein z. B. mechanischer, optischer, kapazitiver oder induktiver Meßföhler vorgesehen sein, der eine Verlagerung der Bearbeitungseinheit bzw. des Werkstücktisches unmittelbar oder einen die Verlagerung bestimmenden Parameter als Fühlgröße für das Ansteuern des mindestens einen piezoelektrischen Stellelements erfaßt. Die erstgenannten Parameter eignen sich insbesondere für eine Regelung des Stellelements, während es sich bei den zweitgenannten Parametern um maschinen-, werkzeug- oder vorrichtungstypische Parameter wie z. B. Temperatur oder Bearbeitungskraft usw. handelt, deren Kennlinien bereits im Vorfeld ermittelt werden und dann zur Steuerung in die exakte Sollpositionen dienen können. In einer vorteilhaften Weiterbildung kann als Meßföhler das mindestens eine piezoelektrische Element selbst vorgesehen sein.

Bei einer dynamischen Positions korrektur der Arbeitsspindel während der Bearbeitung eines Werkstücks kann die Arbeitsspindel durch das Stellelement nicht nur räumlich verstellt, sondern in dieser verstellten Position auch fortwährend gehalten werden. Es ist aber auch möglich, die Arbeitsspindel in ihrer durch das Stellelement räumlich verstellten Lage durch eine separate Halteeinrichtung zu halten.

Bei dieser Halteeinrichtung kann es sich z. B. um Klemmelemente handeln, die sich möglichst elektrisch ansteuern lassen. Insbesondere können als Klemmelemente auch piezoelektrische Elemente verwendet werden.

5 Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter aufgeführten Merkmale erfindungsgemäß jeweils einzeln für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung. Die Erfindung ist in den Figuren schematisch dargestellt, so daß die wesentlichen Merkmale der Erfindung gut zu erkennen ist. Die Darstellungen sind nicht notwendigerweise maßstäblich zu verstehen.

Es zeigt:

Fig. 1 eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Werkzeugmaschine mit zwei vertikalen Bearbeitungseinheiten in perspektivischer Ansicht;

10 Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel einer horizontalen Arbeitsspindel einer erfindungsgemäßen Werkzeugmaschine, wobei die Arbeitsspindel in Z-Richtung verschiebbar gelagert ist;

15 Fig. 3 ein anderes Ausführungsbeispiel einer horizontalen Arbeitsspindel einer erfindungsgemäßen Werkzeugmaschine, wobei die Arbeitsspindel radial zur Z-Richtung verschiebbar gelagert ist; und

20 Fig. 4 eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Werkzeugmaschine in einer Seitenansicht.

Die in Fig. 1 gezeigte Werkzeugmaschine 1 umfaßt ein Maschinenuntergestell in Form eines Bodenträgers 2 sowie zwei Bearbeitungseinheiten 3, deren vertikale Arbeitsspindeln 4 mittels einer Schlitteneinheit in X-, Y- und Z-Richtung verschiebbar geführt sind.

25 Dazu umfaßt die Schlitteneinheit einen X-Schlitten 5, der in horizontalen Führungen 6 des Bodenträgers 2 in X-Richtung verschiebbar geführt ist. Am X-Schlitten 5 sind horizontale Führungen 7 für einen die beiden Bearbeitungseinheiten 3 tragenden Y-Schlitten 8 vorgesehen. Jede Bearbeitungseinheit 3 weist einen pinolenartigen Z-Schlitten (nicht dargestellt) mit der Arbeitsspindel 4 auf, so daß diese auch in Z-Richtung verfahrbare ist.

30 Die beiden Bearbeitungseinheiten 3, die durch einen gemeinsamen Gehäuseblock 9 gebildet sind, sind in X-Richtung durch eine nach vorne offene Trennfuge 10 beabstandet, in der sich oben und unten jeweils ein in X-Richtung wirkendes piezoelektrisches Stellelement 11 befindet. Durch entsprechende elektrische Ansteuerung der Stellelemente 11 kann die Trennfuge 10 geweitet und so der Abstand  $\Delta X$  zwischen beiden Arbeitsspindeln 4 bzw. zwischen den darin befindlichen Werkzeugen 12 geändert werden.

35 Die in Fig. 2 gezeigte Arbeitsspindel 20 ist von drei in Z-Richtung wirkenden piezoelektrischen Stellelementen 21 umgeben, die in gleichen Winkelabständen um die Längsachse 22 der Arbeitsspindel 20 verteilt angeordnet sind. Die piezoelektrischen Stellelemente 21 sind einenends an dem Lager 23 der Arbeitsspindel 20 angebracht und andererseits an dem pinolenartigen Z-Schlitten (nicht dargestellt) abgestützt. Indem alle drei piezoelektrischen Stellelemente 21 für die gleiche Längenänderung  $\Delta z$  elektrisch angesteuert werden, läßt sich die Arbeitsspindel 20 bzw. ihr Werkzeug 24 entsprechend in Z-Richtung in ihrer Länge um den Betrag  $\Delta z$  verstetzen. Bei unterschiedlicher Längen-Ansteuerung der drei piezoelektrischen Stellelemente 21 läßt sich die Arbeitsspindel 20 bzw. das Werkzeug 24 aus ihrer 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995 1000 1005 1010 1015 1020 1025 1030 1035 1040 1045 1050 1055 1060 1065 1070 1075 1080 1085 1090 1095 1100 1105 1110 1115 1120 1125 1130 1135 1140 1145 1150 1155 1160 1165 1170 1175 1180 1185 1190 1195 1200 1205 1210 1215 1220 1225 1230 1235 1240 1245 1250 1255 1260 1265 1270 1275 1280 1285 1290 1295 1300 1305 1310 1315 1320 1325 1330 1335 1340 1345 1350 1355 1360 1365 1370 1375 1380 1385 1390 1395 1400 1405 1410 1415 1420 1425 1430 1435 1440 1445 1450 1455 1460 1465 1470 1475 1480 1485 1490 1495 1500 1505 1510 1515 1520 1525 1530 1535 1540 1545 1550 1555 1560 1565 1570 1575 1580 1585 1590 1595 1600 1605 1610 1615 1620 1625 1630 1635 1640 1645 1650 1655 1660 1665 1670 1675 1680 1685 1690 1695 1700 1705 1710 1715 1720 1725 1730 1735 1740 1745 1750 1755 1760 1765 1770 1775 1780 1785 1790 1795 1800 1805 1810 1815 1820 1825 1830 1835 1840 1845 1850 1855 1860 1865 1870 1875 1880 1885 1890 1895 1900 1905 1910 1915 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020 2025 2030 2035 2040 2045 2050 2055 2060 2065 2070 2075 2080 2085 2090 2095 2100 2105 2110 2115 2120 2125 2130 2135 2140 2145 2150 2155 2160 2165 2170 2175 2180 2185 2190 2195 2200 2205 2210 2215 2220 2225 2230 2235 2240 2245 2250 2255 2260 2265 2270 2275 2280 2285 2290 2295 2300 2305 2310 2315 2320 2325 2330 2335 2340 2345 2350 2355 2360 2365 2370 2375 2380 2385 2390 2395 2400 2405 2410 2415 2420 2425 2430 2435 2440 2445 2450 2455 2460 2465 2470 2475 2480 2485 2490 2495 2500 2505 2510 2515 2520 2525 2530 2535 2540 2545 2550 2555 2560 2565 2570 2575 2580 2585 2590 2595 2600 2605 2610 2615 2620 2625 2630 2635 2640 2645 2650 2655 2660 2665 2670 2675 2680 2685 2690 2695 2700 2705 2710 2715 2720 2725 2730 2735 2740 2745 2750 2755 2760 2765 2770 2775 2780 2785 2790 2795 2800 2805 2810 2815 2820 2825 2830 2835 2840 2845 2850 2855 2860 2865 2870 2875 2880 2885 2890 2895 2900 2905 2910 2915 2920 2925 2930 2935 2940 2945 2950 2955 2960 2965 2970 2975 2980 2985 2990 2995 3000 3005 3010 3015 3020 3025 3030 3035 3040 3045 3050 3055 3060 3065 3070 3075 3080 3085 3090 3095 3100 3105 3110 3115 3120 3125 3130 3135 3140 3145 3150 3155 3160 3165 3170 3175 3180 3185 3190 3195 3200 3205 3210 3215 3220 3225 3230 3235 3240 3245 3250 3255 3260 3265 3270 3275 3280 3285 3290 3295 3300 3305 3310 3315 3320 3325 3330 3335 3340 3345 3350 3355 3360 3365 3370 3375 3380 3385 3390 3395 3400 3405 3410 3415 3420 3425 3430 3435 3440 3445 3450 3455 3460 3465 3470 3475 3480 3485 3490 3495 3500 3505 3510 3515 3520 3525 3530 3535 3540 3545 3550 3555 3560 3565 3570 3575 3580 3585 3590 3595 3600 3605 3610 3615 3620 3625 3630 3635 3640 3645 3650 3655 3660 3665 3670 3675 3680 3685 3690 3695 3700 3705 3710 3715 3720 3725 3730 3735 3740 3745 3750 3755 3760 3765 3770 3775 3780 3785 3790 3795 3800 3805 3810 3815 3820 3825 3830 3835 3840 3845 3850 3855 3860 3865 3870 3875 3880 3885 3890 3895 3900 3905 3910 3915 3920 3925 3930 3935 3940 3945 3950 3955 3960 3965 3970 3975 3980 3985 3990 3995 4000 4005 4010 4015 4020 4025 4030 4035 4040 4045 4050 4055 4060 4065 4070 4075 4080 4085 4090 4095 4100 4105 4110 4115 4120 4125 4130 4135 4140 4145 4150 4155 4160 4165 4170 4175 4180 4185 4190 4195 4200 4205 4210 4215 4220 4225 4230 4235 4240 4245 4250 4255 4260 4265 4270 4275 4280 4285 4290 4295 4300 4305 4310 4315 4320 4325 4330 4335 4340 4345 4350 4355 4360 4365 4370 4375 4380 4385 4390 4395 4400 4405 4410 4415 4420 4425 4430 4435 4440 4445 4450 4455 4460 4465 4470 4475 4480 4485 4490 4495 4500 4505 4510 4515 4520 4525 4530 4535 4540 4545 4550 4555 4560 4565 4570 4575 4580 4585 4590 4595 4600 4605 4610 4615 4620 4625 4630 4635 4640 4645 4650 4655 4660 4665 4670 4675 4680 4685 4690 4695 4700 4705 4710 4715 4720 4725 4730 4735 4740 4745 4750 4755 4760 4765 4770 4775 4780 4785 4790 4795 4800 4805 4810 4815 4820 4825 4830 4835 4840 4845 4850 4855 4860 4865 4870 4875 4880 4885 4890 4895 4900 4905 4910 4915 4920 4925 4930 4935 4940 4945 4950 4955 4960 4965 4970 4975 4980 4985 4990 4995 5000 5005 5010 5015 5020 5025 5030 5035 5040 5045 5050 5055 5060 5065 5070 5075 5080 5085 5090 5095 5100 5105 5110 5115 5120 5125 5130 5135 5140 5145 5150 5155 5160 5165 5170 5175 5180 5185 5190 5195 5200 5205 5210 5215 5220 5225 5230 5235 5240 5245 5250 5255 5260 5265 5270 5275 5280 5285 5290 5295 5300 5305 5310 5315 5320 5325 5330 5335 5340 5345 5350 5355 5360 5365 5370 5375 5380 5385 5390 5395 5400 5405 5410 5415 5420 5425 5430 5435 5440 5445 5450 5455 5460 5465 5470 5475 5480 5485 5490 5495 5500 5505 5510 5515 5520 5525 5530 5535 5540 5545 5550 5555 5560 5565 5570 5575 5580 5585 5590 5595 5600 5605 5610 5615 5620 5625 5630 5635 5640 5645 5650 5655 5660 5665 5670 5675 5680 5685 5690 5695 5700 5705 5710 5715 5720 5725 5730 5735 5740 5745 5750 5755 5760 5765 5770 5775 5780 5785 5790 5795 5800 5805 5810 5815 5820 5825 5830 5835 5840 5845 5850 5855 5860 5865 5870 5875 5880 5885 5890 5895 5900 5905 5910 5915 5920 5925 5930 5935 5940 5945 5950 5955 5960 5965 5970 5975 5980 5985 5990 5995 6000 6005 6010 6015 6020 6025 6030 6035 6040 6045 6050 6055 6060 6065 6070 6075 6080 6085 6090 6095 6100 6105 6110 6115 6120 6125 6130 6135 6140 6145 6150 6155 6160 6165 6170 6175 6180 6185 6190 6195 6200 6205 6210 6215 6220 6225 6230 6235 6240 6245 6250 6255 6260 6265 6270 6275 6280 6285 6290 6295 6300 6305 6310 6315 6320 6325 6330 6335 6340 6345 6350 6355 6360 6365 6370 6375 6380 6385 6390 6395 6400 6405 6410 6415 6420 6425 6430 6435 6440 6445 6450 6455 6460 6465 6470 6475 6480 6485 6490 6495 6500 6505 6510 6515 6520 6525 6530 6535 6540 6545 6550 6555 6560 6565 6570 6575 6580 6585 6590 6595 6600 6605 6610 6615 6620 6625 6630 6635 6640 6645 6650 6655 6660 6665 6670 6675 6680 6685 6690 6695 6700 6705 6710 6715 6720 6725 6730 6735 6740 6745 6750 6755 6760 6765 6770 6775 6780 6785 6790 6795 6800 6805 6810 6815 6820 6825 6830 6835 6840 6845 6850 6855 6860 6865 6870 6875 6880 6885 6890 6895 6900 6905 6910 6915 6920 6925 6930 6935 6940 6945 6950 6955 6960 6965 6970 6975 6980 6985 6990 6995 7000 7005 7010 7015 7020 7025 7030 7035 7040 7045 7050 7055 7060 7065 7070 7075 7080 7085 7090 7095 7100 7105 7110 7115 7120 7125 7130 7135 7140 7145 7150 7155 7160 7165 7170 7175 7180 7185 7190 7195 7200 7205 7210 7215 7220 7225 7230 7235 7240 7245 7250 7255 7260 7265 7270 7275 7280 7285 7290 7295 7300 7305 7310 7315 7320 7325 7330 7335 7340 7345 7350 7355 7360 7365 7370 7375 7380 7385 7390 7395 7400 7405 7410 7415 7420 7425 7430 7435 7440 7445 7450 7455 7460 7465 7470 7475 7480 7485 7490 7495 7500 7505 7510 7515 7520 7525 7530 7535 7540 7545 7550 7555 7560 7565 7570 7575 7580 7585 7590 7595 7600 7605 7610 7615 7620 7625 7630 7635 7640 7645 7650 7655 7660 7665 7670 7675 7680 7685 7690 7695 7700 7705 7710 7715 7720 7725 7730 7735 7740 7745 7750 7755 7760 7765 7770 7775 7780 7785 7790 7795 7800 7805 7810 7815 7820 7825 7830 7835 7840 7845 7850 7855 7860 7865 7870 7875 7880 7885 7890 7895 7900 7905 7910 7915 7920 7925 7930 7935 7940 7945 7950 7955 7960 7965 7970 7975 7980 7985 7990 7995 8000 8005 8010 8015 8020 8025 8030 8035 8040 8045 8050 8055 8060 8065 8070 8075 8080 8085 8090 8095 8100 8105 8110 8115 8120 8125 8130 8135 8140 8145 8150 8155 8160 8165 8170 8175 8180 8185 8190 8195 8200 8205 8210 8215 8220 8225 8230 8235 8240 8245 8250 8255 8260 8265 8270 8275 8280 8285 8290 8295 8300 8305 8310 8315 8320 8325 8330 8335 8340 8345 8350 8355 8360 8365 8370 8375 8380 8385 8390 8395 8400 8405 8410 8415 8420 8425 8430 8435 8440 8445 8450 8455 8460 8465 8470 8475 8480 8485 8490 8495 8500 8505 8510 8515 8520 8525 8530 8535 8540 8545 8550 8555 8560 8565 8570 8575 8580 8585 8590 8595 8600 8605 8610 8615 8620 8625 8630 8635 8640 8645 8650 8655 8660 8665 8670 8675 8680 8685 8690 8695 8700 8705 8710 8715 8720 8725 8730 8735 8740 8745 8750 8755 8760 8765 8770 8775 8780 8785 8790 8795 8800 8805 8810 8815 8820 8825 8830 8835 8840 8845 8850 8855 8860 8865 8870 8875 8880 8885 8890 8895 8900 8905 8910 8915 892

Um die in Fig. 3 gezeigte Arbeitsspindel 30 sind außen am Umfang ihres Lagers 31 vorne und hinten jeweils drei radial zur Längsrichtung 32 der Arbeitsspindel 30 wirkende piezoelektrische Stellelemente 33 angeordnet, die anderenends an einem Gehäuse (nicht dargestellt) abgestützt sind. Jedes Lager 31 ist durch seine drei, jeweils um 120° verteilt angeordneten piezoelektrischen Stellelemente 32 in einer 3-Punkt-Lagerung 34 gehalten. Durch entsprechende elektrische Längen-Ansteuerung aller piezoelektrischer Stellelemente 33 der beiden 3-Punkt-Lagerung 34 läßt sich die Arbeitsspindel 20 bzw. ihr Werkzeug 35 entweder aus der mit 10 32 bezeichneten Lage um einen Betrag  $\Delta$  parallel verschieben oder aber verkippen. Durch die sphärische Verstellbarkeit können z. B. Taumelfehler der Arbeitsspindel 30 ausgeglichen werden.

Bei der in Fig. 4 gezeigten Werkzeugmaschine 40 sind zwischen dem Bodenträger 41 und den Führungen 42 für die in Fig. 1 beschriebene Schlitteneinheit sowie einem Werkstücktisch 43 piezoelektrische Stellelemente 44 angeordnet, die in Y-Richtung wirken. Auf dem Werkstücktisch 43 befinden sich die mit dem Werkzeug 45 in der Arbeitsspindel 46 zu bearbeitenden Werkstücke.

Durch entsprechend schnelle Längenansteuerung  $\Delta Y$  der Stellelemente 44 läßt sich die Übertragung von Schwingungen des Bodenträgers 41 auf das Werkzeug dämpfen bzw. 25 eliminieren. Je nach Position des Massenmittelpunkts des verfahrbaren Schlitteneinheit ändern sich die auf die Führung 42 wirkenden Kräfte, die zu Geometrieabweichungen führen können. Mit den unter den Führungen 42 vorgesehenen Stellelementen 44 können z. B. Nachgiebigkeiten der 30 Schlitteneinheit ausgeglichen und so die nicht konstante Steifigkeit der Schlitteneinheit in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Position kompensiert werden.

Bei einer Werkzeugmaschine (1) zur insbesondere spannenden Bearbeitung von Werkstücken, mit einer Bearbeitungseinheit (3) ist als Positions korrektur einrichtung, insbesondere für eine Arbeitsspindel (4) der Bearbeitungseinheit (3), mindestens ein elektrisch angesteuertes piezoelektrisches Stellelement (11) vorgesehen. Bei einer festgestellten Positionsänderung kann die Bearbeitungseinheit schnell 35 mechanisch in ihre jeweilige Sollposition bewegt werden.

#### Patentansprüche

1. Werkzeugmaschine (1; 40) zur insbesondere spannenden Bearbeitung von Werkstücken, mit einer Bearbeitungseinheit (3) und/oder einem Werkstücktisch (43) und mit einer Positions korrektur einrichtung für die Bearbeitungseinheit (3) bzw. den Werkstücktisch (3), dadurch gekennzeichnet, daß als Positions korrektur einrichtung, insbesondere für eine Arbeitsspindel (4; 20; 30; 46) der Bearbeitungseinheit (3), mindestens ein elektrisch angesteuertes piezoelektrisches Stellelement (11; 21; 33; 44) vorgesehen ist.
2. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wirkrichtung des mindestens einen piezoelektrischen Stellelements (11; 21; 44) etwa in Richtung eines linearen Freiheitgrades (X-, Y-, Z-Richtung) der Bearbeitungseinheit (3) bzw. des Werkstücktisches (43) verläuft.
3. Werkzeugmaschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß jedem linearen Freiheitsgrad (X-, Y-, Z-Richtung) der Bearbeitungseinheit (3) bzw. des Werkstücktisches (43) jeweils mindestens ein piezoelektrisches Stellelement (11; 21; 44) zugeordnet ist.
4. Werkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Wirkrichtung des mindestens einen piezoelektrischen Stellelement

ments (33) etwa radial zu einem linearen Freiheitsgrad (X-, Y-, Z-Richtung) der Bearbeitungseinheit (3) bzw. des Werkstücktisches verläuft.

5. Werkzeugmaschine nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitungseinheit bzw. der Werkstücktisch über eine durch mindestens zwei, vorzugsweise mindestens drei piezoelektrische Stellelemente (33) gebildete Mehrpunkt halterung (34) räumlich verstellbar gelagert ist.

6. Werkzeugmaschine nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitungseinheit bzw. der Werkstücktisch über mindestens zwei in Richtung des linearen Freiheitsgrades (X-, Y-, z-Richtung) hintereinander angeordnete Mehrpunkt halterungen (34) räumlich verstellbar gelagert ist.

7. Werkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das mindestens eine piezoelektrische Stellelement (44) an der einem linearen Freiheitsgrad (X-, Y-, Z-Richtung) zugeordneten Führung (42) der Bearbeitungseinheit bzw. des Werkstücktisches (43) vorgesehen ist.

8. Werkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand zwischen zwei Bearbeitungseinheiten (3), insbesondere zwischen ihren Arbeitsspindeln (4), oder zwischen zwei Werkstücktischen der Werkzeugmaschine über das mindestens eine piezoelektrische Stellelement (11) veränderbar ist.

9. Werkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch mindestens ein die Bearbeitungseinheit bzw. den Werkstücktisch (43) höhenverstellbar lagerndes piezoelektrisches Stellelement (33; 44).

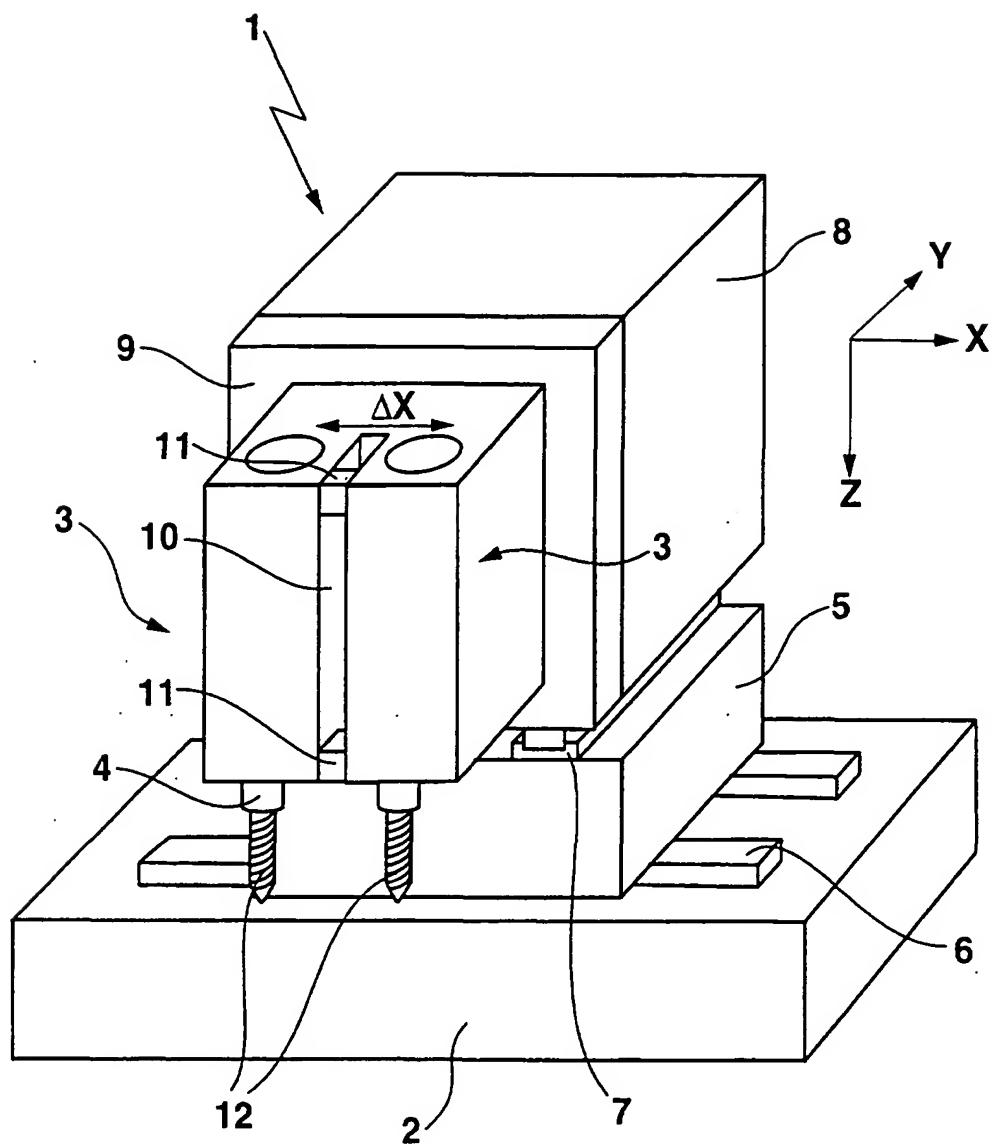
10. Werkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Meßfühler, der eine Verlagerung der Bearbeitungseinheit (3) bzw. des Werkstücktisches (43) unmittelbar oder einen die Verlagerung bestimmenden Parameter als Fühlgröße für das Ansteuern des mindestens einen piezoelektrischen Stellelements (11; 21; 33; 44) erfäßt.

11. Werkzeugmaschine nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß als Sensor das mindestens eine piezoelektrische Stellelement (11; 21; 33; 44) selbst vorgesehen ist.

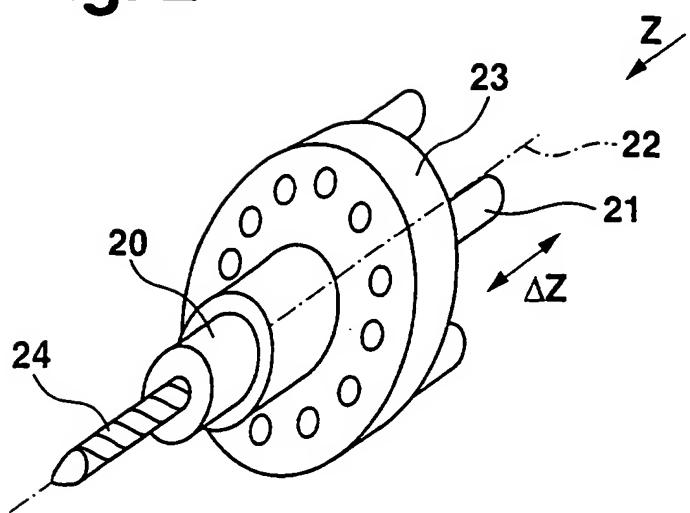
12. Werkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jedem piezoelektrischen Stellelement (11; 21; 33; 44) eine Halteeinrichtung zugeordnet ist, welche die Bearbeitungseinheit (3) bzw. den Werkstücktisch (43) jeweils in der durch das piezoelektrische Stellelement (11; 21; 33; 44) vorgegebenen Lage hält.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1



**Fig. 2**



**Fig. 3**

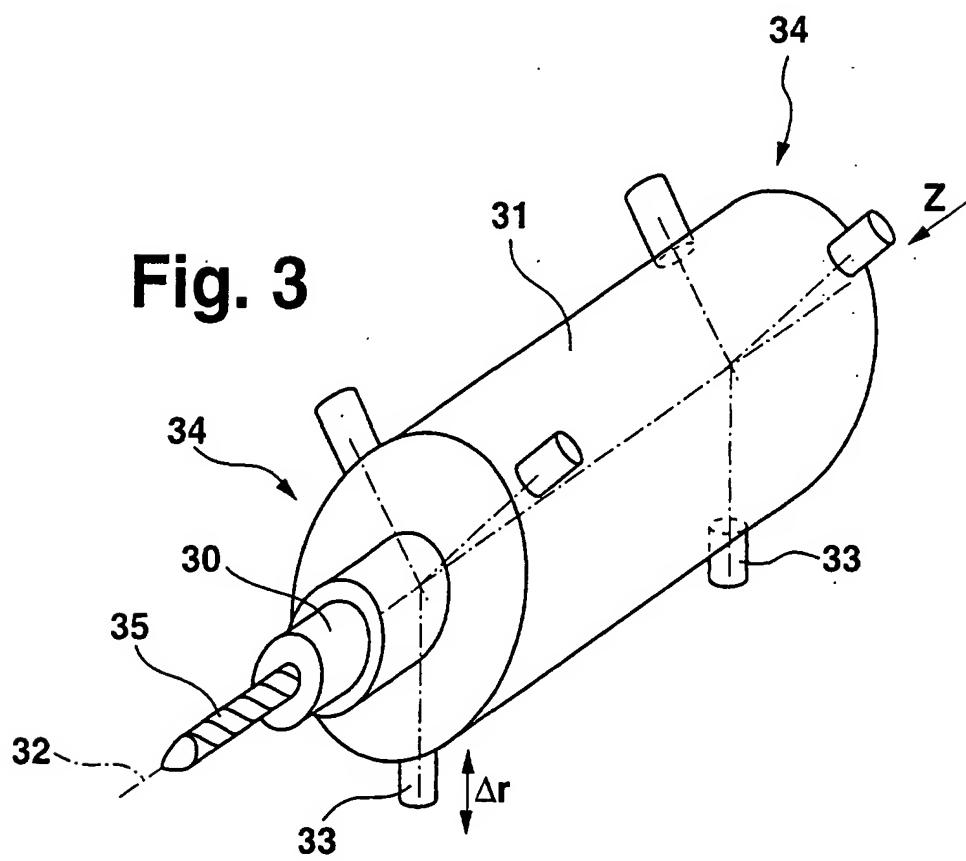


Fig. 4

